

Emmi Asp

UUSIOBETONIN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Tammikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Emmi Asp: Uusiobetonin käyttö rakentamisessa, Recycled aggregate concrete used in structures

Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Tammikuu 2020

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin murskatun betonin käyttöä uusiobetonin runkoaineena. Murskattua betonia saadaan puretuista betonirakenteista ja betoniteollisuuden ylijäämäbetoneista. Uusiobetoniksi kutsutaan betonia, jossa käytetään runkoaineena kierrätettyjä materiaaleja, kuten murskattua betonia. Työn tarkoituksena oli selvittää uusiobetonin elinkaaren ajalta, kuinka purkubetoni tai betoniteollisuuden ylijäämäbetoni tuotetaan oikeanlaiseksi betonimurskeeksi, miten se päättyy osaksi uusiobetonia ja millaisia ominaisuuksia uusiobetonilla on luonnonkiviainesbetoniin verrattuna. Tarkoituksena oli selvittää myös uusiobetonin käyttökohteita ja sen tulevaisuuden kehitystä. Murskattua betonia hyödynnetään sellaisenaan Suomessa tällä hetkellä pääosin vain maanrakentamisessa.

Purettavien betonirakenteiden tai betoniteollisuuden ylijäämäbetonien betonimurskeeksi tuottamisen vaiheita ovat hyötykäyttökelpoisuuden selvittäminen, lupaprosessi, purkaminen ja murskaus. Nämä betonimurskeen valmistuksen vaiheet selvitettiin työssä.

Uusiobetonin valmistus eroaa luonnonkiviainesbetonin valmistuksesta, koska uusiokiviaineksen ominaisuudet eroavat luonnonkiviaineksesta. Betonista uusiokiviainesta ympäröivä sementtikivi vaikuttaa esimerkiksi uusiokiviaineksen tiheyteen ja vedenimukykyyn. Nämä ominaisuudet vaikuttavat uusiobetonin valmistukseen. Eräs uusiobetonin valmistusmenetelmä oli kaksivaiheinen sekoittaminen.

Betonin luonnollista kiviainesta voidaan korvata kokonaan tai osittain uusiokiviaineksella. Työssä selvisi, että luonnollisen kiviaineksen korvaaminen murskatulla betonilla saa aikaan ympäristön kannalta positiivisia vaikutuksia, kuten luonnollisen kiviaineksen säästymistä ja kaatopaikkajätteen vähenemistä. LCA-menetelmällä mitattuna uusiobetonin elinkaarivaikutukset olivat hyviä osittaisella korvaamisella. Kun murskatun betonin osuus uusiobetonista oli 25 % tai vähemmän saatiin uusiobetonille lähes samat ominaisuudet kuin luonnonkiviainesbetonille, eikä uusiobetoniin tarvinnut lisätä ylimääräistä sementtiä.

Työn lopussa selvitettiin uusiobetonin käytännön sovelluskohteita, joita olivat esimerkiksi reuna- ja katukivet sekä betoniputket. Lopussa pohditaan myös uusiobetonin hyödyntämisen tulevaisuutta.

Avainsanat: Uusiobetoni, uusiokiviaines, murskattu betoni

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyönohjaajina ovat toimineet Jussi Aromaa ja Jukka Merviö. Haluan esittää heille kiitokseni rakentavista ja yksityiskohtaisista palautteista sekä monista hyvistä kehitysehdotuksista.

Ylöjärvellä, 15.1.2020

Emmi Asp

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. BETONIN HYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA	3
2.1 Betonin ominaisuudet	3
2.2 Betonin purkujäte	5
2.3 Betonin hyödyntämistä koskeva lainsäädäntö Suomessa	7
3. MURSKATTU BETONI UUSIOBETONIN KIVIAINEKSENA	9
3.1 Betonin käsittely uusiokiviaineeksi	9
3.1.1 Hyötykäyttö	9
3.1.2 Lupaprosessi	11
3.1.3 Betonin purkaminen ja murskaus	13
3.2 Vertailu luonnonkiviainekseen	17
4. UUSIOBETONIN OMINAISUUDET	20
4.1 Uusiobetonin valmistus	20
4.2 Vertailu luonnonkiviainesbetoniin	21
5. KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET JA TULEVAISUUDEN KEHITYS	24
6. YHTEENVETO	29
LÄHTEET	31
LIITE A: MARA-ASETUKSEN (843/2017) RAJA-ARVOT	34

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AVI	Aluehallintovirasto
CE-merkintä	Merkintä, jolla osoitetaan, että tuote täyttää sille osoitettujen direktiivien vaatimukset.
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EoW	End-of-Waste (Jätteeksi luokittelun päättyminen)
EU	Euroopan Unioni
LCA	Life Cycle Assessment (elinkaarivaikutusten arviointimenetelmä)
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämistä maanrakentamisessa
NA	Natural aggregate (luonnollinen kiviaines)
RAC	Recycled aggregate concrete (uusiokiviaines betoni)
RCA	Recycled concrete aggregate (betoninen uusiokiviaines)
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SVT	Suomen virallinen tilasto

1. JOHDANTO

Kaupunkien tiivistyessä ja asumiskannan vanhentuessa tulee ajankohtaiseksi rakennusten purkaminen. Rakennusten purkamisessa syntyy paljon erilaisia purkujätteitä, kuten betoni- ja puujätettä. Purkujäte sisältää paljon materiaalia, joka menee hukkaan, kun purkujäte hävitetään esimerkiksi kaatopaikalle. Tämän takia purkujätettä voidaan hävityksen sijasta suunnitella hyötykäyttöön, jolloin materiaaleja voidaan hyödyntää uudelleen. Näin voidaan toimia esimerkiksi puretun betonijätteen kanssa. Hyödynnettävää betonijätettä voidaan saada purettavien rakennusten lisäksi betoniteollisuuden ylijäämäbetoneista.

Kierrätettävää murskattua betonia kutsutaan uusiokiviainekseksi. Uusiokiviainesta voidaan hyödyntää esimerkiksi uusiobetonissa tai maanrakennuksessa. Jotta betonia voidaan hyödyntää näissä eri sovelluskohteissa, tulee betonin hyötykäyttökelpoisuus eli soveltuvuus hyödyntämiseen tutkia ja hankkia hyödyntämiseen tarvittavat luvat. Jos betonijäte on hyötykäyttökelpoista, se voidaan murskata ja hyödyntää. Suomessa suurin osa hyödynnettävästä betonimurskeesta käytetään sellaisenaan tällä hetkellä maanrakentamisessa.

Hyödyntämällä murskattua betonia uusiobetonin runkoaineena voidaan saavuttaa ympäristön kannalta positiivisia vaikutuksia ja toimia osana rakennusalan kiertotaloutta. Kierrättämällä betonia betonisen kaatopaikkajätteen määrä vähenee. Murskatulla betonilla voidaan korvata betonin runkoaineena yleensä käytettävää luonnonkiviainesta, jolloin luonnonperäiset kiviainesvarannot säilyvät. Lisäksi voidaan vähentää kuljetusvaikutuksia, jos purkukohteet ovat lähellä uusiobetonin hyödyntämispaikkaa. Toisaalta uusiokäytöllä voi olla suurempi sementtitarve, mikä voi lisätä ympäristörasitetta.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää, miten murskattua jäte- tai ylijäämäbetonia voidaan hyödyntää rakentamisessa uuden betonin runkoaineena. Betonia, jonka runkoaineena käytetään uusiokiviaineksena betonimursketta, kutsutaan tässä työssä uusiobetoniksi. Kandidaatintyön tavoitteena on selvittää uusiobetonin elinkaaren ajalta, kuinka purkubetoni tai betoniteollisuuden ylijäämäbetoni tuotetaan oikeanlaiseksi murskeeksi, miten se päätyy osaksi uusiobetonin ja millaisia ominaisuuksia uusiobetonilla on luonnonkiviainesbetoniin verrattuna. Tarkoituksena on

selvittää myös uusiobetonin käytännön sovelluskohteita ja uusiobetonin tulevaisuuden kehitystä.

Työn alussa selvitetään betonin hyödyntämistä Suomessa ja tutkitaan uusiokiviaineksen valmistusta ja ominaisuuksia. Työssä selvitetään, millaisia ominaisuuksia betonimurskeella pitää olla, jotta sitä voidaan hyödyntää uusiokiviaineksena ja millaisia lupia uusiobetonin hyödyntämiseksi tulee hankkia. Tämän jälkeen tutkitaan uusiokiviaineksesta koostuvan uusiobetonin valmistusta ja vertaillaan sen ominaisuuksia luonnonkiviainesbetoniin. Työn lopussa selvitetään myös uusiobetonin käyttökohteita ja tulevaisuuden kehitystä. Kandidaatintyö rajataan koskemaan uusiobetonin ammattimaista tai laitospaikkaista hyödyntämistä. Kandidaatintyössä tarkastellaan kovettuneen jätebetonin kierrätystä ja uusiobetonin uusiokiviaineksena tarkastellaan vain betonimursketta. Uusiobetonilla tarkoitetaan uusiokiviainesbetonia ja uusiokiviaineksella tarkoitetaan betonimursketta. Työssä ei käsitellä uusiobetonin uusiokäyttöä.

2. BETONIN HYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA

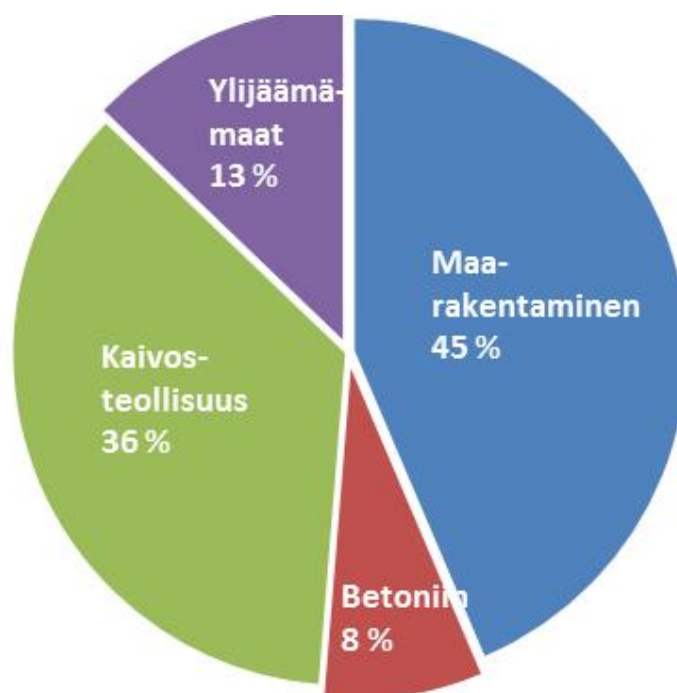
Rakentamisen suurin materiaalivirta on kiviaines, jota käytetään Suomessa noin 100 miljoonaa tonnia vuodessa. Käytetyin varsinainen rakennusmateriaali Suomessa on betoni. Sitä valmistetaan vuosittain 15 miljoonaa tonnia, josta 1,5 miljoonaa tonnia koostuu sementistä ja 13,5 miljoonaa tonnia kiviaineksista. (Saarinen 2015, s. 42)

2.1 Betonin ominaisuudet

Betoni on hyvin tärkeä rakennusmateriaali, mikä voidaan todeta jo edellisessä kappaleessa kerrottujen tonnimäärien perusteella. Betonin suosioon vaikuttavat betonin ominaisuudet, jotka syntyvät betonin eri ainesosien yhteistoiminnasta.

Betoni koostuu vedestä, sementistä, kiviaineksista sekä tarvittaessa lisä- ja seosaineista (BY 201 2018, s. 24). Betonin sementti on tärkein betonin osa-aine, koska se toimii materiaalin sidosaineena. Betonin kiviaineksesta käytetään myös termiä runkoaines, joka koostuu karkeasta ja hienosta osasta. (BY 201 2018, s. 43; Betoni 2019 b) Yleensä karkeampi osa koostuu luonnonsorasta tai kalliomurskeesta ja hienompi osa luonnonhiekasta. Betoniin käytettävä kiviaines koostuu siis erikokoisista kivirakeista, jotka ovat raekooltaan 0,02 – 16 mm. (Betoni 2019 b) Betoniin lisättävien lisäaineiden avulla voidaan säätää betonin ominaisuuksia osa-aineiden laadun ja seossuhteiden lisäksi. Lisäaineiden avulla voidaan valmistaa esimerkiksi korkealujuusbetonia tai kylmiin olosuhteisiin soveltuvaa pakkasenkestävää betonia. (BY 201 2018, s. 60)

Noin 70 % betonin tilavuudesta koostuu kiviaineksesta (Betoni 2019 b). Se tarkoittaa, että noin 8 % Suomen kiviaineksesta hyödynnetään betonin valmistuksessa. Tämä vastaa tonnimäärissä noin 8 – 10 miljoonaa tonnia. (Betoni 2019 d) Kuvaaja Suomen kiviainesten käytöstä on esitettyä kuvassa 1. Betonikiviainesten osuus on merkitty kuvaan punaisella.



Kuva 1. Betonikiviainesten osuus Suomen kiviaineksista (Betoni 2019 d).

Kun tuoreen betonin sementtirakeet ja vesi reagoivat keskenään, tapahtuu kemiallinen reaktio, jossa betoni kovettuu ja muodostaa lujan mineraalin (Betoni 2019 b). Betonin lujuuteen vaikuttavat aineosien ominaisuudet ja niiden suhteelliset osuudet, kuten vesisementtisuhde. Veden lisääminen parantaa työstettävyyttä, mutta alentaa lujuutta. Halutun lujuuden saavuttamiseksi on lisättävä veden lisäämisen ohessa myös sementtiä. (Finnsementti 2019)

Betonin hyviä ominaisuuksia käytön kannalta ovat esimerkiksi sen muovailtavuus, puristuslujuus, kestävyys ja pitkäikäisyys. Betonin muovailtavuuden avulla betonirakenteita voidaan valmistaa monissa muodoissa ja sen pintavaihtoehtoja on paljon, mikä tekee sen käytöstä monipuolista. Lujuus ja kestävyys mahdollistavat pitkät jännevälit, joiden avulla voidaan luoda avoimia tiloja. Betonilla on kestävyyttä myös niin palo- ja kosteusrasitukselle kuin säärasituksellekin. Betonin pitkäikäisyydellä saavutetaan vuosikymmeniä kestävien rakenteiden toteuttaminen. (Betoni 2019 a)

Betonin hyviin ominaisuuksiin kuuluu myös se, että rakenteita voidaan valmistaa raudoitettuna. Raudoitetussa betonirakenteessa betoni ja raudoitus yhdessä kestävät rakenteelle tulevat kuormitukset. Betonissa olevan raudoituksen tehtävänä on ottaa vastaan rakenteelle tulevat vetorasitukset. Betoni kestää hyvin rakenteelle tulevan puristusrasituksen. (BY 201 2018, s. 17)

Betonilla on hyviä ominaisuuksia myös ympäristön kannalta. Niitä ovat esimerkiksi sen pitkäikäisyys ja sen kyky karbonatisoitumiseen. Karbonatisoitumisessa betonin

sementtikivi sitoo ilman hiilidioksidia itseensä. Koska betonirakenteet ovat pitkäikäisiä, ne voivat kemiallisesti sitoa ilman hiilidioksidia osaksi omaa rakennettaan käyttöikänsä aikana paljon. Betonirakenteen elinkaaren loppupuolella hiilidioksidin sitoutuminen rakenteeseen kiihtyy. Karbonatisoitumisen ajatellaan olevan käänteinen ilmiö sementin poltolle. (Saarinen 2015, s. 42) Ympäristön kannalta hyvää on myös se, että betonin seosaineina voidaan käyttää muun teollisuuden jätteitä, kuten lentotuhkaa, masuunikuonaa ja silikaa (BY 201 2018, s. 13).

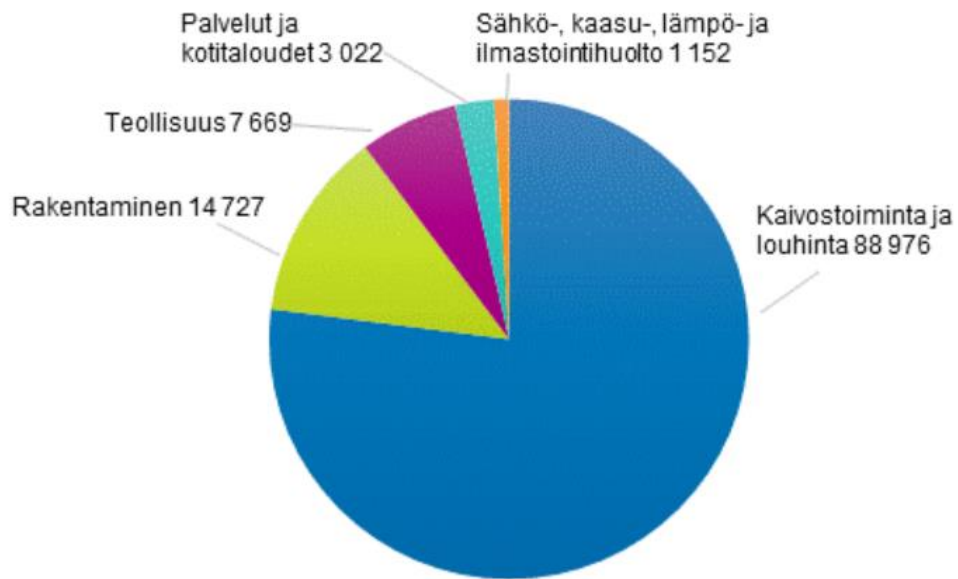
Betonin huonoja ominaisuuksia ovat esimerkiksi sementin valmistuksessa syntyvät päästöt. Sementtiä valmistetaan louhittua kalkkikiveä polttamalla, jossa kuluu paljon energiaa ja vapautuu huomattava määrä hiilidioksidia ilmakehään (Betoni 2019 c). Poltossa kalkkikivi hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi (BY 201 2018, s. 148).

Ympäristön kannalta negatiivisia vaikutuksia on sementin valmistuksen lisäksi myös betonin runkoaineena käytettävällä luonnonkiviaineella. Luonnonkiviaines on materiaalina uusiutumaton ja sen tuottamiseen ja kuljettamiseen kuluu energiaa. Betonin kannalta parasta runkoainetta olisivat luonnollinen hiekka ja sora, mutta esimerkiksi pohjaveden tehokkaan muodostumisen takia sora- ja hiekkamuodostelmia halutaan suojella. Tämän takia murskatun kiviaineksen käyttö on koko ajan lisääntynyt. (BY 201 2018, s. 43)

2.2 Betoninen purkujäte

Suomen virallisen tilaston, SVT:n, vuonna 2019 julkaiseman jätetilaston mukaan vuonna 2017 jätteen kokonaismäärä Suomessa oli noin 117 miljoonaa tonnia. Tilaston mukaan rakentaminen tuotti jätettä 14,7 miljoonaa tonnia. Rakentaminen oli sektoreittain tarkasteltuna toiseksi suurin jätteen tuottaja kaivostoiminnan ja louhinnan jälkeen. Rakentamisen jätteistä betoni luokitellaan kuuluvaksi mineraalijätteisiin, joita oli vuonna 2017 14,3 miljoonaa tonnia. Kuvassa 2 kuvataan jätteiden kertymistä sektoreittain. Rakentaminen on esitetty kuvassa keltaisella. (Suomen virallinen tilasto 2019)

Jätteiden kertymät sektoreittain ja jätelajeittain vuonna 2017, 1 000 tonnia vuodessa



Kuva 2. Jätteiden kertyminen sektoreittain (Suomen virallinen tilasto 2019).

Suomessa vuosittainen betonijätteen määrä on arvion mukaan noin 1,5 miljoonaa tonnia. Betonijätteen tarkkaa tonnimäärää ei ole tilastoitu. (Väylävirasto 2019, s. 41) Suurin osa tästä betonijätteestä syntyy ontelolaattatuotannossa ja betonirakenteiden purkamisessa (Pajukallio et al. 2011, s. 71). Kuvassa 3 on esitetty betonirakenteen purkamista kaivinkoneeseen liitettävällä iskuvasaralla.



Kuva 3. Betonirakenteen purkaminen kaivinkoneen iskuvasaralla.

Ontelolaattatuotannossa betonijätettä syntyy esimerkiksi laattojen rikkoutuessa ja katkaisussa. Tuotannosta tulevat betonijätteet ovat yleisesti tarkasteltuna puhtaampia rakenteiden purkamisesta syntyvään betonijätteeseen verrattuna. Purkamisessa syntyvän betonijätteen koostumus ja laatu riippuu purkukohteesta, -tarkkuudesta sekä koko purkuketjun toimivuudesta. (Pajukallio et al. 2011, s. 71)

2.3 Betonin hyödyntämistä koskeva lainsäädäntö Suomessa

Puretuista rakennuksista saatavaa purkubetonia käsitellään lainopillisesta näkökulmasta jätteenä, koska jätelain (646/2011) mukaan ”Tässä laissa tarkoitetaan jätteellä ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä”. Euroopan unionin vuonna 2008 julkaiseman jätedirektiivin mukaan jätehuollossa on noudatettava ensisijaisuusjärjestystä, jonka mukaan jätteen ehkäisy, valmistelu uudelleenkäyttöön sekä kierrätys menevät muun hyödyntämisen ja loppukäsittelyn edelle tässä järjestyksessä. Tämän perusteella voidaan todeta, että esimerkiksi kokonaisten betonielementtien uudelleenkäyttö tulee ensisijaisesti ennen betonin kierrätystä uusiokiviaineksena. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY; Linden 2017, s. 54)

Kun betonijätettä käytetään uusiobetonin uusiokiviaineeksena, betonijätteen pilaantumisen arviointiin voidaan soveltaa ns. MARA-asetusta eli valtioneuvoston asetusta eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017). MARA-asetuksessa annetaan maanrakennuksessa hyödynnettävälle murskatulle betonille sallitut haitta-ainepitoisuudet ja muut laatuvaatimukset. Näitä ohjeistuksia voidaan soveltaa koskemaan myös uusiobetonia. Pilaantuneisuuden arvioinnissa tulee huomioida myös vaarallisen jätteen raja-arvopitoisuudet. Kun betoni täyttää nämä ehdot, voidaan betonimurskeen hyödyntämiseen uusiokiviaineeksena hakea ympäristölupaa ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta. Jos vaarallisen jätteen raja-arvopitoisuudet ylittyvät tai käsiteltävää betonijätettä on 50 000 tonnia tai yli, luvan antajaksi tulee aluehallintovirasto (AVI). (Ympäristöministeriö 2019 b) Esimerkki vaarallisesta jätteestä on asbesti, jota hyötykäyttöön suunniteltu betoni ei saa sisältää lainkaan. Betonimurskeen käsittelyä uusiokiviaineeksi käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.1 Betonin käsittely uusiokiviaineeksi.

MARA-asetus on uudistunut 2017 ja tullut uudistettuna voimaan 2018. Uudessa MARA-asetuksessa muuttui esimerkiksi palakoko, joka pieneni 150 millimetristä 90 millimetriin (Häkkinen 2019, s. 26). Uudessa MARA-asetuksessa haitta-aineiden raja-arvot ovat maanrakennuskohdekohtaisia, eivätkä jätemateriaalikohtaisia. Samalla myös joidenkin haitta-aineiden, kuten kadmium ja nikkeli raja-arvoja nostettiin ja joidenkin haitta-aineiden esimerkiksi arseeni ja kromi raja-arvoja laskettiin. MARA-asetuksen uudistuessa se kumosi aikaisemman valtioneuvoston asetuksen (VNa 591/2006). MARA-asetusta ollaan uudistamassa jälleen niin, että esimerkiksi hyötykäyttökohteita lisätään. Uudistettu MARA-asetus astunee voimaan vuoden 2020 aikana. (Ympäristöministeriö 2019 a)

3. MURSKATTU BETONI UUSIOBETONIN KIVIAINEKSENA

Betonimursketta voidaan hyödyntää uusiobetonin kiviaineksena. Betonivalmistajilta löytyy valmiita CE-merkittyjä betonimurskelaatuja, jotka ovat määritelty standardin SFS-132422 (Maa- ja vesirakentamisessa käytettävät sitoutumattomat ja sidotut kiviainekset) mukaisesti (Nieminen 2016 s. 78). CE-merkinnän voi saada betonin uusiokiviainekselle standardin SFS-EN 12620+A1 mukaisesti, jossa on määritelty esimerkiksi karkeiden uusiokiviainesten osa-aineiden pitoisuusluokat (SFS 2008 s. 18). Tuotteelle annettu CE-merkintä tarkoittaa, että kyseinen tuote täyttää sille osoitettujen direktiivien vaatimukset (SFS 2019).

Betoninen uusiokiviaines eli *RCA* (recycled concrete aggregate) voidaan hyödyntää uusiobetonissa luonnonkiviaineksen eli *NA* (natural aggregate) sijasta. Uusiobetonin runkoaineena voidaan käyttää murskatun betonin sijasta esimerkiksi tiilimursketta ja lasimurskaa (Nieminen 2015, s. 7). Yleisesti uusiokiviaineilla tuotettua uusiobetonia voidaan ilmaista lyhenteellä *RAC* (recycled aggregate concrete).

3.1 Betonin käsittely uusiokiviaineksi

Jätebetonin käsittely uusiobetonin uusiokiviaineksi voi olla työläs projekti, kun uusiobetonin tuottaminen halutaan tehdä ammatti- tai laitospäisesti. Betonimurskeen hyödyntämiseen uusiobetonissa ei ole samankaltaista MARA-asetuksen mukaista menettelyä, joka on olemassa betonimurskeen hyödyntämiseen maanrakentamisessa. Niemisen (2015, s. 8) mukaan maanrakentamisessa annettuja ohjeistuksia ja prosesseja voitaisiin soveltaa koskemaan myös uusiobetonissa hyödynnettävää betonimursketta.

Betonin hyödyntämiseksi maanrakentamisessa on tutkittava betonin haitta-ainepitoisuuksia ja laatuvaatimuksia MARA-asetuksen mukaisesti, jolloin voidaan todentaa sen hyötykäyttökelpoisuus (Ympäristöministeriö 2019 b, s. 28). Hyötykäyttökelpoiseksi todettu betoni etenee murskauksen kautta hyötykäyttöön. Jos betoni ei täytä hyötykäyttökelpoisuuden kriteereitä, tulee tutkia betonin kaatopaikkakelpoisuus.

3.1.1 Hyötykäyttö

Hyötykäytön toteutumiseksi, on betonijätteen tai ylijäämäbetonin todettava olevan hyötykäyttökelpoista. Hyötykäyttökelpoisuuden määrittämiseen hyödynnetään MARA-

asetuksen raja-arvoja ja vaarallisen jätteen raja-arvopitoisuuksia. Hyötykäyttö- ja kaatopaikkakelpoisuuden arviointi voidaan tehdä osittain samoista analyysivastauksista, koska niissä arvioidaan samojen haitta-aineiden pitoisuuksia. Hyötykäyttö- ja kaatopaikkakelpoisuus voidaan todeta akkreditoidussa eli pätevyyden saaneessa laboratorioissa.

Hyötykäyttökelpoisuuden tutkiminen kannattanee tehdä jo ennen betonin purkamista. Hyötykäyttökelpoisuus kannattaa aloittaa pois sulkemalla rajoittavimmat haitta-aineet, kuten asbesti, joka luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. MARA-asetuksen (843/2017) liitteissä 2 ja 3 esitetään haitta-aineiden kokonaispitoisuuden ja liukoisuuden määrittämisen menetelmät.

MARA-asetuksessa (843/2017) on määritetty betonimurskeelle myös muita laatuvaatimuksia haitta-aineiden raja-arvojen lisäksi. MARA-asetuksen mukaan ”Betoni- tai tiilimurske saa sisältää enintään yhden painoprosentin siihen kuulumatonta vedessä kellumatonta ainesta, kuten puuta, kumia tai metallia. Lisäksi betoni- tai tiilimurskeessa saa olla enintään 10 cm³/kg vettä kevyempiä materiaaleja, kuten muovia ja eristemateriaaleja. Betonijäte saa sisältää lisäksi enintään 30 painoprosenttia tiili- ja kaakelijätettä”. (Ympäristöministeriö 2019 b, s. 24) Näihin vaatimuksiin voi vaikuttaa huolellisella purkamisella.

Kun MARA-asetusta sovelletaan koskemaan myös rakentamisessa käytettävän uusiobetonin valmistusta, kannattanee huomioida betonimurskeen kloridi- ja sulfaattipitoisuudet, koska ne voivat vaikuttaa uusiobetonin ja sen raudoituksen korroosioon. Ympäristöministeriön soveltamisohjeen (2019 a, s. 23) mukaan ”Tästä syystä kloridia ja/tai sulfaattia sisältävä jäte ei välttämättä sovellu hyödynnettäväksi kaikissa kohteissa, vaikka asetuksen raja-arvot alittuisivat”. Tämä ohjeistus on tarkoitettu otettavaksi huomioon maanrakentamiskohteiden suunnitteluun ja toteutuksen arvioinnissa, mutta voidaan huomioida myös uusiobetonin valmistuksen arvioinnissa.

Pajukallio et al. (2011, s. 73) toteaa, että puhtaan betonimurskeen hyödyntämiseen ei juurikaan liity ympäristöriskejä. Betonimurske on emäksistä ja sisältää jonkin verran sulfaatteja, minkä takia betonimurske kannattaa suojata vedeltä. Näin ehkäistään emäksisten vesien leviäminen ympäristöön. Tämä kannattaa huomioida uusiobetonin käyttökohteiden suunnittelussa.

Jos hyödynnettäväksi tarkoitettu betoni ei täytä hyötykäyttökelpoisuuden mukaisia kriteereitä tulee jätteen kaatopaikkakelpoisuus osoittaa, jotta jäte voidaan sijoittaa kaatopaikalle. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013) määrittelee kaatopaikalle hyväksyttävät ominaisuudet. Kaatopaikkaluokkia on asetuksen mukaisesti

kolme: pysyvälle jätteelle, tavanomaiselle jätteelle ja vaaralliselle jätteelle. Kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnin perusteella jäte sijoitetaan sellaiselle kaatopaikalle, joka on saadun luokituksen mukainen. (Eurofins 2016, s. 1)

Kaatopaikkakelpoisuuden arviointi tehdään kolmiportaisesti. Arviointi koostuu jätteen perusmäärittelystä, jätteen vastaavuustestauksesta ja kaatopaikalle tehtävästä tarkastuksesta. Jätteen perusmäärittelyyn ja vastaavuustestaukseen kuuluvasta testauksesta tulee vastata riippumattomat ja pätevät henkilöt. Myös testauslaboratorion tulee olla asetuksen mukainen. (Eurofins 2016, s. 1)

3.1.2 Lupaprosessi

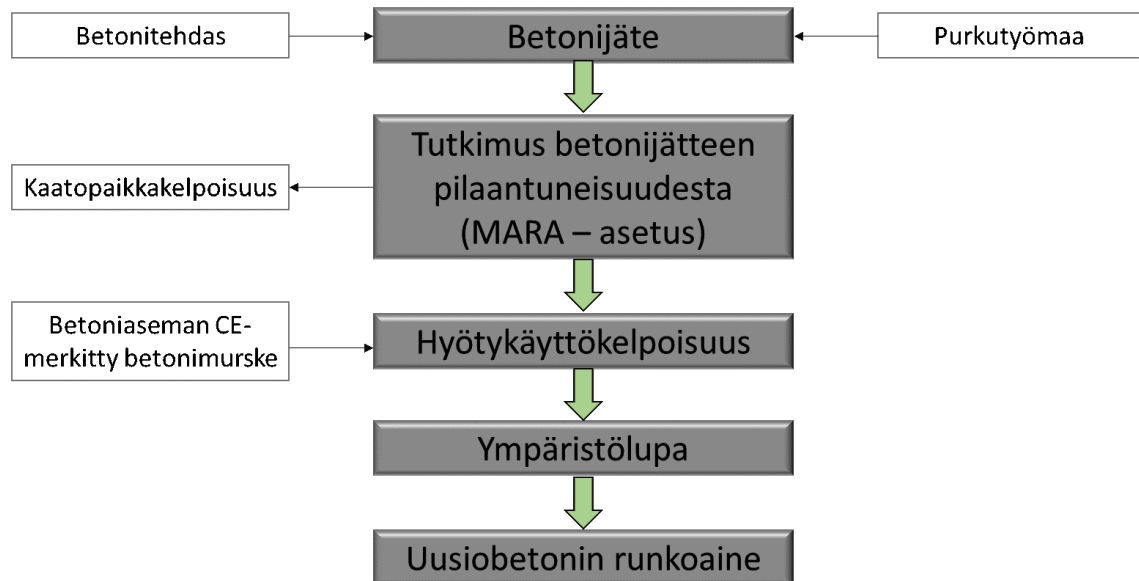
Jos betonimursketta hyödynnetään maanrakentamisessa, tulee tehdä MARA-asetuksen mukainen ilmoitus valtion valvontaviranomaiselle. MARA-asetuksen soveltaminen koskee vain tiettyjä käyttökohteita, joita ovat esimerkiksi yleiset tiet, pysäköintialueet sekä urheilukentät. Hyödyntämisessä tulee toteutua myös maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset kriteerit käyttökohteelle. Hyödyntämisen käyttökohde tulee toteuttaa katusuunnitelman, yleisen alueen toteuttamissuunnitelman, luvan tai ilmoituksen tai tiesuunnitelman mukaisesti. Hyödyntämiskohteen haltija tekee MARA-asetuksen mukaisen ilmoituksen ELY-keskukselle eli elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle, joka toimii valtion valvontaviranomaisena kyseisellä toimipaikalla. ELY-keskus merkitsee ilmoituksen ympäristönsuojelutietojärjestelmään. (Ympäristöministeriö 2019 b, s. 12)

Nieminen (2015, s. 8) toteaa diplomityössään, että maanrakennuksessa hyödynnettäviä ohjeistuksia ja prosesseja murskatulle betonille voitaisiin soveltaa koskemaan myös rakentamisessa käytettävän uusiobetonin valmistusta. Tämän kaltainen ohjeistus on esimerkiksi MARA-asetus, jonka raja-arvojen täytyessä voitaisiin todeta uusiokiviaineksen hyötykäyttökelpoisuus myös uusiobetoniin soveltuvaksi. MARA-asetuksessa määritetyt haitta-ainepitoisuudet ovat liitteenä tämän kandidaatintyön lopussa.

Hyötykäyttökelpoinen betoni tulee murskata, jotta sitä voidaan hyödyntää uusiokiviaineksena. Betonijätteen murskaus vaatii ammatti- ja laitosmaisessa toiminnassa ympäristöluvan (YSL 527/2014). Tilapäinen betonimurskaustoiminta voidaan saada toteuttaa meluilmoituksella (YSL 527/2014, 118 §). (Häkkinen 2019, s. 26)

Murskatun betonin käyttö uusiobetonin uusiokiviaineksena tarvitsee ympäristöluvan, jonka voi myöntää kunnan ympäristönsuojeluviranomainen tai aluehallintovirasto

(Ympäristöministeriö 2019 b). Uusiobetoniin tulevan uusiokiviaineksen lupaprosessia voidaan havainnollistaa kaaviolla, joka on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Uusiobetonin betonisen uusiokiviaineksen lupaprosessia havainnollistava kaavio.

Betonimurskeen lupaprosessia uusiobetonin uusiokiviainekseksi voisi yksinkertaistaa ja tehostaa, jos murske saisi End-of-Waste-menettelyn mukaisen luokituksen. End-of-Waste- eli EoW-menettelyn tarkoituksena on materiaalin jätestatuksen poistaminen eli jätteen tuotteistaminen. Jätteeksi luokiteltu asia tai esine voi lakata olemasta jätettä, kun se täyttää lainsäädännössä määritetyt EoW-kriteerit. Jäteluokituksen päättyessä materiaali siirtyy jätelainsäädännön alaisuudesta tuotelainsäädännön alaisuuteen. (Ympäristöministeriö 2018, s. 28) Materiaali voidaan vapauttaa jäteluokituksesta tietyin ehdoin, jätelain (646/2011, § 5,3) mukaan ”Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä jätelajeittain siitä, milloin aine tai esine ei ole enää jätettä, jos:

- 1) se on läpikäynyt hyödyntämistoimen;
- 2) sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään yleisesti;
- 3) sillä on markkinat tai kysyntää;
- 4) se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen; ja
- 5) sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.”

Ympäristöministeriön raportin (2018, s. 24) mukaan jätteeksi luokittelu tapahtuu ensisijaisesti EU-tasolla, mutta jäsenvaltioilla on toimivalta säätää asiasta myös

kansallisesti. Sama materiaali voi siis olla toisessa EU-jäsenmaassa tuote ja toisessa jätettä. Betonimurske on saanut EoW-statusen jo esimerkiksi Alankomaissa (Häkkinen 2019, s. 28).

Ympäristöministeriön raportin (2018, s. 67) mukaan betonimurskeen mahdollisella EoW-statusella on erilaisia vaikutuksia ja sen laajuuteen on tehtävä rajauksia. EoW-sääntely betonimurskeelle tulisi rajata esimerkiksi käyttökohteelle, onko se maanrakennuksessa vai uusiobetonin valmistuksessa. Rajaus voisi olla myös niin, että vain ympäristöluvan omaavissa laitoksissa betonimurske voi lakata olemasta jätettä. Raportissa arvioitiin, että EoW-sääntelyllä voitaisiin saavuttaa selkeämpi erottelu parempilaatuisen ja heikompilaatuisen betonimurskeen välillä, mikä voisi johtaa nykyistä tilannetta tehokkaampaan hyödyntämiseen.

Ympäristöministeriön raportissa (2018, s. 67) EoW-sääntelyn todettiin tuovan myös negatiivisia vaikutuksia esimerkiksi sääntelyn monimutkaistumisen takia ”Esimerkiksi betonimursketta koskeva EoW-asetus tarkoittaisi sitä, että betonimurskeen hyödyntäminen voisi tapahtua neljässä sääntelykategoriassa: jätteenä ympäristöluvanvaraisesti tai kunnan normien pohjalta (ei laitos- tai ammattimainen toiminta) tai MARA-asetuksen mukaisesti rekisteröintimenettelyllä ja ei-jätteenä EoW-säännöksen mukaisesti.” Tämä voisi johtaa siihen, että sääntelyä voitaisiin käyttää väärin etenkin maanrakentamisessa.

3.1.3 Betonin purkaminen ja murskaus

Betonisen uusiokiviaineksen valmistusprosessi etenee rakenteen purkamisesta murskaukseen. Tässä kappaleessa uusiokiviaineksen lähtöaineena käsitellään rakenteiden purkamisessa syntyvää jätebetonia.

Purkutyön suoritustapa vaikuttaa murskeen laatuun, koska purkutyömaalla olevat muut materiaalit voivat helposti sekoittua purettavan betonin kanssa ja tämä vaikuttaa betonimurskeen laatuun heikentävästi. Kun purkutyö tehdään suunnitelmallisesti ja lajittelevasti, estetään sekoittuminen ja helpotetaan kierrätyksen etenemistä. Tuloksena saadaan homogeenistä ja puhdasta betonimursketta. (Linden 2017, s. 45)

Purettavan rakennuksen tai rakenteen purkutyö tulee suunnitella. Purkutyön suunnittelun tavoitteena on, että purkutyö onnistuu tehokkaasti, taloudellisesti sekä työturvallisuus- ja ympäristövaatimuksia noudattaen. Purkutyössä tulee kiinnittää huomiota kantavien rakenteiden selvittämiseen, purkujärjestykseen ja esimerkiksi siihen, että sisältääkö purettava rakenne terveydelle vaarallisia aineita. Purkukohteen

rakennuttaja laatii purkuohjelman ja kohteen rakennesuunnittelija laatii purettavista rakenteista purkutyöselostuksen ja purkupiirustukset. Pää toteuttaja laatii purkusuunnitelman, jossa selvitetään esimerkiksi tarkempien purkutyösuunnitelmien tarve. (Ratu 1221-S 2009, s.1 – 4) Betonin hyödyntämiseksi uusiokiviaineeksi tulee purkukohteesta tuottaa purkusuunnitelma. Purkusuunnitelmassa kuvataan purettavan kohteen historia, aiempi toiminta sekä rakennusmateriaaleja ja laitteita. Purkusuunnitelmassa tunnistetaan mahdollisia ongelma-aineita ja -materiaaleja ja voidaan arvioida purettavan betonin soveltumista hyötykäyttöön. Lisäksi kuvataan purkumenetelmä ja eri materiaalien lajittelu. (Pajukallio et al. 2011 s. 72) Huolellisella purkusuunnitelmalla ja sen noudattamisella voidaan pienentää purkamisessa syntyvän betonimurskeen kontaminaation mahdollisuutta. Kuvassa 5 kuvataan tiilisen purkujätteen lajittelua.

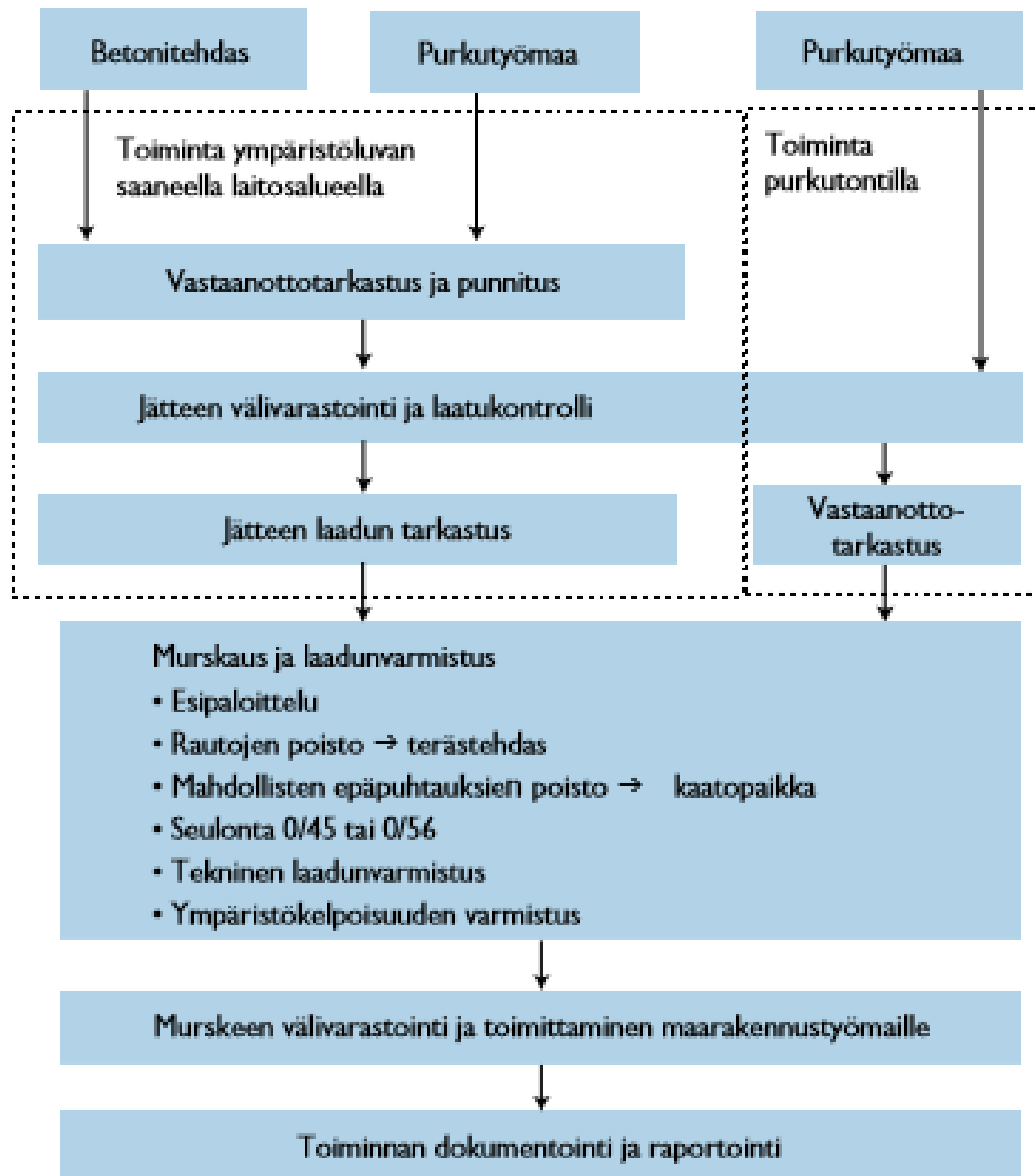


Kuva 5. Tiilijätteen lajittelua purkutyömaalla.

Betonimurskeen murskausprosessi kannattaa toteuttaa MARA-asetuksen säädökset huomioiden, kuten oikean raekoon mukaisesti, jotta työ on tehokasta ja kannattavaa. Betonimurskeen valmistus koostuu pulveroinnista, murskauksesta ja seulonnasta. Pulverointia ennen voidaan suorittaa esimerkiksi iskuvasarointi kaivinkoneella, millä rakenteiden kokoa saadaan pienemmäksi. Pulverointi suoritetaan yleensä purkutyömaalla, kaivinkoneeseen liitettävän lisälaitteen avulla. Pulveroinnissa purkujäte

saadaan pienennettyä, jolloin esimerkiksi jätteen kuljettaminen tehostuu ja betonissa olevat teräkset saadaan eroteltua. (Häkkinen 2019, s. 17) Pulverointi voidaan tulkita tilapäiseksi toiminnaksi, joka ei tarvitse ympäristölupaa. Pulverointi voi vaatia ympäristönsuojelulain 118 § mukaisen meluilmoituksen. (Ympäristöministeriö 2014, s. 15)

Betonin murskaus voi tapahtua pulveroinnin jälkeen purkutyömaalla tai se voidaan kuljettaa ympäristöluvan saaneeseen laitokseen murskattavaksi (Pajukallio et al. 2011, s. 72). Murskauksen suoritusta paikka riippuu purkutyömaan koosta ja sijainnista. Jos murskaus suoritetaan purkutyömaalla, tulee murskauskalusto siirtää työmaalle ja työmaalla tulee olla riittävä tila murskeen kanssa työskentelyyn ja murskeen varastointiin (Linden 2017, s. 45). Murskaus purkutyömaalla sopii lähinnä suurille työmaille, mutta myös sijainti voi vaikuttaa murskaustapaa arvioidessa. Kuvassa 6 esitetään murskaustapoja ja betonimurskeen valmistuksen etenemistä. Kuva on kohdennettu maanrakennuksessa hyödynnettävälle uusiokiviainekselle, mutta sitä voidaan soveltaa koskemaan myös uusiobetonin uusiokiviaineksia.



Kuva 6. Murskaustavat, sekä murskauksen eteneminen (Pajukallio et al. 2011 s. 72).

Purkutyömaalla tapahtuva murskaus voi tapahtua kaivinkoneeseen liitettävällä kauhamurskaimella tai liikuteltavalla mobiilimurskaimella. Molemmat murskaustavat yleensä edellyttävät ympäristönsuojelulain 118 § mukaisen meluilmoituksen teon. Melusyistä voidaan mobiilimurskaimen käyttö joissain kohteissa evätä. Melun torjunnan kannalta betonimurskeen varastointikasan sijoittelulla työmaalla on merkitystä. (Häkämies et al. 2018, s. 43) Varastointikasan avulla voidaan estää melun etenemistä esimerkiksi asutuksen suuntaan.

Betonimurskeen laadun kannalta parasta ja tasalaatuisinta betonimursketta syntyisi mobiilimurskaimella. Mobiilimurskaimeen syötetään murskattavaksi tarkoitettu betoni esimerkiksi pyöräkuormaajalla tai kaivinkoneella. Mobiilimurskaimella betonimursketta

syntyy laskentatavasta ja murskattavan betonin laadusta riippuen 3 – 5 kertaa nopeammin kauhamurskaimeen verrattuna. (Häkämies et al. 2018, s.43; Häkkinen 2019, s. 18) Eroavaisuuksia löytyy myös metallien erottelussa. Mobiilimurskaimessa erottelu tapahtuu murskauksen yhteydessä. Kaivinkoneen kauhamurskaimella murskattaessa murske on käytävä vielä erikseen läpi magneetilla. (Häkkinen 2019, s.19) Euroopassa betonin murskaus tehdään usein kahdessa vaiheessa, kun sen maksimiraekoko on 32 mm ja sitä käytetään betonin valmistuksessa tai tierakenteissa (Collins 2003, s. 8/6). Kuvassa 7 esitetään betonimurskeen valmistusta. Kuvan kaivinkone syöttää mobiilimurskaimeen pulveroitua betonia, mobiilimurskain murskaa betonin ja siirtää seulalle seulottavaksi.



Kuva 7. Betonin murskausta havainnollistava tapahtumaketju (Saarinen 2015, s. 47).

Seulonnalla saadaan eroteltua betonimurskeen erikokoiset rakeet. Näin betonimurske saadaan tasalaatuiseksi ja palvelemaan paremmin eri käyttökohteita. Seulonta betonimurskeelle tapahtuu samoin kuten luonnonkiviainekselle. (Häkkinen 2019, s. 20).

3.2 Vertailu luonnonkiviainekseen

Murskatusta betonista muodostunut uusiokiviainespartikkeli koostuu alkuperäisestä kiviaineksesta ja ympäröivästä sementtikivistä (Narataki et al. 2004, s. 965). Ympäröivän sementtikiven määrä riippuu valmistusprosessista. Valmistusprosessin murskausten määrä vähentää ympäröivän sementtikiven määrää, mutta lisää kustannusten osuutta. (Nieminen 2015, s. 17)

Koska uusiobetoniin käytettävää murskattua betonia, uusiokiviainesta, saadaan kahdesta lähteestä, voidaan uusiokiviaines jakaa kahteen eri tyyppiin. Toinen tyyppi on ominaisuuksiltaan ja koostumukseltaan hyvin tunnettua, eikä juurikaan sisällä epäpuhtauksia. Tällaista puhtaampaa uusiokiviainesta saadaan valmistettua testiolosuhteissa tai betoniteollisuuden ylijäämäbetoneista. Toinen uusiokiviainestyyppi on purkujätteestä valmistettua, joka todennäköisemmin sisältää purkamisen yhteydessä syntyviä epäpuhtauksia, kuten tiiltä, puuta ja muovia. (De Brito & Saikia 2013, s. 82 – 85, Nieminen 2015, s. 17 mukaan)

Uusiobetonin kiviaines voidaan korvata kokonaan (100 %) tai osittain uusiokiviaineksella (< 100 %). Hienon uusiokiviaineksen eli alle 2 mm kokoisten uusiokiviainepartikkelien käyttö on harvinaista, koska sen on todettu lisäävän vedenimukykyä, pienentävän lujuutta ja lisäävän betonin kutistumaa. (Marinkovic et al. 2014, s. 241) Joissain standardeissa esimerkiksi Saksassa, on kielletty hienon uusiokiviaineksen käyttö (DafStb 2004, Marinkovic et al. 2014, s. 241 mukaan).

Uusiokiviaineksella on noin 10 % pienempi tiheys kuin luonnonkiviaineksella, korkeampi huokoisuus ja suurempi vedenimukyky. Vedenimukyky karkealla uusiokiviaineksella on 2 – 9 % ja hienolla uusiokiviaineksella 5,5 – 13 % suurempi verrattuna luonnonkiviainekseen. Koska uusiokiviaines imee itseensä enemmän vettä uusiobetonista voi tulla vaikeaa työstää. Siksi uusiobetoneihin voidaan tarvita enemmän sementtiä tai lisäaineita luonnonkiviainesbetoniin verrattuna. (Marinkovic et al. 2014, s. 241) Kuvassa 8 on kuvattu Rudus Oy:n Betoroc-betonimursketta.



Kuva 8. *Betonimursketta (Rudus 2019).*

Myös uusiokiviaineksen muodolla on havaittu olevan merkitystä uusiobetonin valmistuksessa. Uusiokiviaineksena murskattu betoni on kulmikkaampaa raemuodoltaan luonnonkiviainekseen verrattuna, mikä voi vaikuttaa uusiobetonin työstettävyyteen heikentävästi. (Ferreira et al. 2011, De Brito & Saikia 2013, s. 102, Nieminen 2015, s. 18 mukaan)

4. UUSIOBETONIN OMINAISUUDET

Uusiobetonin ominaisuuksiin vaikuttavat esimerkiksi uusiokiviaineksen laatu ja uusiobetonin valmistusprosessi. Uusiobetonin valmistus eroaa luonnonkiviainesbetonin valmistuksesta. Uusiobetonin ominaisuudet eroavat luonnonkiviainesbetonista niin tuoreessa kuin kovettuneessa muodossa.

4.1 Uusiobetonin valmistus

Uusiobetonin valmistukseen käytetään uusiokiviainesta, sementtiä, luonnonkiviainesta, vettä ja tarvittaessa lisäaineita (Nieminen 2015, s. 39). Uusiokiviainesta, betonimursketta, voidaan käyttää korvaamaan kokonaan luonnonkiviaines, jolloin betonimurskeen osuus runkoaineesta on 100 %. Luonnonkiviainesta voidaan korvata myös vain osittain, jolloin betonimurskeen osuus runkoaineesta on alle 100 %. Usein käytetään vain karkeaa uusiokiviainesta, koska hienon uusiokiviaineksen on todettu lisäävän esimerkiksi betonin vedenimukykyä. (Marinkovic et al. 2014, s. 241; Nieminen 2015, s. 39) Uusiobetonin valmistuksessa tulee huomioida uusiokiviaineksen lujuus, koska alhaisemman lujuusluokan uusiokiviaineksesta ei voida valmistaa korkeamman lujuusluokan betonia (Nieminen 2015, s. 36).

Koska uusiokiviaineksen vedenimukyky on suurempi kuin luonnonkiviaineksen, tulee uusiobetonimassalle suunnitella suurempi vesimäärä. Uusiokiviaines imee siis tuoreen betonimassan vettä itseensä, jolloin vettä ei ole tarpeeksi sementin hydrataatioprosessiin. Tehdyssä tutkimuksessa uusiobetonisten koekappaleiden lisäveden määrä on 4 – 5 % uusiokiviaineksen massasta. (Nieminen 2015, s. 52)

Uusiobetonია voidaan tuottaa erilaisilla valmistusmenetelmillä. Niemisen (2015, s. 45) mukaan uusiokiviaineksen vedenimun hallintaan on saatu hyviä tuloksia kaksivaiheisella sekoittamisella. Sekoittamisen toteuttaminen kaksivaiheisena tarkoittaa, että uusiobetonin valmistuksessa betoniin laskettu vesimäärä lisätään kahdessa osassa. Laskettuun vesimäärään on huomioitu lisäveden tarve. Ensin puolet vedestä lisätään uusiokiviaineksen ja luonnonkiviaineksen sekaan, jolloin vesi täyttää uusiokiviaineksen huokokset. Tämän jälkeen lisätään sementti ja loput vesimäärästä.

4.2 Vertailu luonnonkiviainesbetoniin

Uusiobetonin ominaisuudet ovat samoja kuin luonnonkiviainesbetonin. Ominaisuudet saavat kuitenkin erilaisia arvoja riippuen uusiokiviaineksen määrästä, laadusta ja uusiobetonin valmistusmenetelmästä.

Uusiokiviaines vaikuttaa niin tuoreen kuin kovettuneenkin uusiobetonin ominaisuuksiin. Tuoreessa uusiobetonissa uusiokiviaines vaikuttaa työstettävyyteen, ilmamäärään ja tiheyteen. Työstettävyyttä voidaan mitata painumakokeella, jossa uusiobetonin saa luonnonkiviainesbetoniin verrattuna alhaisemman painuman. Alhaisempi painuma johtuu uusiokiviaineksen suuremmasta vedenimukyvästä ja kulmikkaammasta muodosta. (De Brito & Saikia 2013, s. 229 – 236, Nieminen 2015, s. 42 mukaan) Työstettävyyttä voidaan pyrkiä parantamaan veden lisäyksellä, mutta lujuuden säilyttämiseksi tulee veden lisäyksen yhteydessä lisätä myös sementtiä (Finnsementti 2019).

Marinkovic et al. (2014) ja Exteberria et al. (2007) tutkivat kovettuneen uusiobetonin ominaisuuksia. Marinkovic et al. (2014) tutkimuksessa vertailtiin betonisen uusiokiviainesbetonin ja luonnonkiviainesbetonin elinkaarivaikutuksia *Life Cycle Assessment* eli LCA-menetelmän mukaisesti. LCA on tunnetuin ja standardoitu elinkaarivaikutusten arviointimenetelmä. ISO-standardin (14040:2006) mukaan LCA:ssa on neljä osaa, jotka ovat tavoite ja laajuusmäärittely, elinkaariluettelon (LCI) luominen, ympäristövaikutusten arviointi (LCIA) ja tulosten tulkinta. Marinkovic et al. (2014) tutkimuksessa selvisi, että sementtimäärän lisäys ja kuljetusetäisyys ovat ratkaisevassa osassa elinkaarivaikutusten vertailussa. Sementtimäärän lisäyksen ollessa enemmän kuin muutaman prosentin ja kuljetusmatkan kasvaessa tulee luonnonkiviainesbetoni elinkaarivaikutuksiltaan paremmaksi vaihtoehdoksi. LCA-menetelmässä ei kuitenkaan huomioitu luonnollisten kiviainesvarastojen ehtymistä eikä kaatopaikkakapasiteetin kasvamista, joita syntyy, kun käytetään luonnollista kiviainesta. Uusiokiviaineksen kykyä sitoa ilman hiilidioksidia osaksi rakennettaan toisen käyttöikänsä aikana ei myöskään huomioitu. Marinkovic et al. (2014) mukaan tulevaisuudessa tutkimuksissa olisi hyvä ottaa huomioon luonnonvarojen ehtyminen ja betoniin kyky karbonatisoitumiseen.

Exteberria et al. (2007) tutkivat uusiobetonin rakennemateriaalina. Tätä varten tutkimuksessa valmistettiin uusiobetonisia palkkeja, joiden runkoaineena hyödynnettiin murskattua betonia. Tutkimuksessa selvitettiin valmistettujen uusiobetonipalkkien leikkauskäyttäytymistä ja leikkauslujuutta. Palkkeja valmistettiin 12 kappaletta. Betonin puristuslujuus oli valmistetuissa palkkeissa sama ja uusiokiviaineksenä hyödynnettiin vain karkeaa betonimurskettä. Uusiokiviainesta käytettiin neljässä eri suhteessa (0 %, 25 %, 50 %, 75 %).

50 %, 100 %) ja eri raudoituksia oli kolmea erilaista. Tutkimuksessa valmistetut palkit kuormitettiin murtoon asti. Kokeen tuloksena selvisi, että uusiokiviaineksen käytön vaikutus palkkien leikkauslujuuteen riippuu korvatus karkean uusiokiviaineksen prosenttiosuudesta. Leikkauslujuus pieneni suurimmilla uusiokiviaineksen prosenttiosuuksilla. Tämä ilmeni varsinkin palkeilla, joissa ei ollut leikkausraudoitusta. Palkeissa, joissa käytettiin uusiokiviainesta 25 % tai vähemmän erot luonnonkiviainesbetoniin eivät olleet suuria, eikä uusiobetonin tarvinnut lisätä sementtiä. Tutkimuksen johtopäätöksissä todettiin, että uusiobetonin, jonka uusiokiviaineksen osuus on 25 % tai vähemmän sopii käytettäväksi rakenteissa. Tämä kuitenkin edellytti, että osuudet ja uusiokiviaineksen ominaisuudet olivat hyväksyttäviä. Tutkimuksessa ei käsitelty taivutuslujuutta.

Marinkovic et al. ja Exteberria et al. tekemien tutkimusten pohjalta voidaan pohtia, että uusiobetonin, jossa on käytetty 25 % tai vähemmän betonista uusiokiviainesta sopii rakenteisiin käytettäväksi niin elinkaarivaikutusten kuin leikkauslujuus ja -käyttäytymisen puolesta. Exteberria et al. (2007) mukaan uusiobetonin, jonka betonisen uusiokiviaineksen osuus oli 25 % ei tarvinnut lisätä sementtiä, joka Marinkovic et al. (2014) tutkimuksen perusteella voi johtaa pienempiin elinkaarivaikutuksiin luonnonkiviainesbetoniin verrattuna. Tämä tulee kuitenkin todeta tapauskohtaisesti, koska esimerkiksi pitkät kuljetusmatkat voivat muuttaa tuloksia.

Kotimaista kokeellista tutkimusta uusiobetoneista tehnyt Nieminen (2015, s. 46 – 69) tutki uusiobetoneita, joissa uusiokiviaineksen osuus oli 5,1 – 13,8 %. Uusiokiviainesten laitteet olivat 16 – 32 mm, 8 – 16 mm ja 0,125 – 8 mm. Näistä uusiokiviaineslajitteista karkeiden laitteiden käyttöä painotettiin. Uusiobetonisia palkkeja tutkittiin taivutus- ja puristuslujuuden osalta. Tuloksia voitiin verrata luonnonkiviaineksesta valmistettuun vertailubetonin. Tutkimuksen perusteella uusiobetonin vastasi hyvin vertailubetonin. Uusiobetonin puristuslujuudet saivat hieman pienempiä arvoja ja uusiobetonin taivutuslujuudet jopa parempia arvoja vertailubetonin verrattuna. Tutkimuksessa parhaiten vertailubetonin vastasivat koebetonit 2, 3, ja 4. Koebetonissa 2 oli uusiokiviainesta 12,5 % ainoastaan karkeilla lajikkeilla 16- 32 mm. Koebetonissa 3 oli käytetty lajikkeita 16 - 32 mm ja 8 - 16 mm ja uusiokiviaineksen osuus 5,1 %, joka oli tutkimuksen alhaisin. Alhaisen uusiokiviaineksen osuuden vuoksi saadut tulokset vastasivat hyvin vertailubetonin. Koebetonissa 4 oli käytetty 10,2 % uusiokiviainesta samoilla lajikkeilla kuin koebetonissa 3. Tutkimuksessa voitiin tehdä johtopäätös, että uusiobetonin uusiokiviainesta kannattaa hyödyntää erityisesti karkeiden luonnonkiviainesten korvaamiseen.

Myös kotimaisessa Betonitekniikan oppikirjassa (BY 201 2018, s. 153) esitetään, millaisella osuudella uusiokiviainesta voidaan hyödyntää. Kun uusiobetonin valmistuksessa käytetään enintään noin 20 % murskattua betonia kiviaineksen kokonaismäärästä, saavutetaan valmistuneelle uusiobetonille lähes samat ominaisuudet normaalikiviaineksella valmistettuun betoniin verrattuna.

5. KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET JA TULEVAISUUDEN KEHITYS

Tässä kandidaatintyössä tutkittujen lähteiden ja tiedonhaun perusteella voidaan todeta, että uusiobetonin käytännön sovelluksia on Suomessa vielä vähän. Ulkomailla niitä on enemmän ja niitä esitellään tässä kappaleessa. Usein Suomessa päädytään käyttämään luonnonkiviainesbetonia.

Muissa Euroopan maissa, kuten esimerkiksi Saksassa ollaan uusiobetonin hyödyntämisessä Suomea edellä. Saksassa on ollut paljon pilottihankkeita uusiobetonin hyödyntämiseen ja RC-Beton on sisällytetty monien saksalaisten betonitehtaiden valikoimaan vuodesta 2011. (Rc-beton 2019)

Hyvin onnistuneiden pilottihankkeiden ansiosta Berliinin osavaltiossa vaaditaan uusiobetonin käyttöä kaikissa uusissa julkisissa kerrostalohankkeissa. Tämä korvaus vastaa tilavuudeltaan noin 100 000 m³ normaalibetonia. (Euroopan komissio 2017, s. 3) Kuvassa 9 esitetään Saksassa toteutettuja uusiobetonin pilottihankkeita.

Pilotprojekte im Überblick



Kuva 9. Saksalaisia pilottikohteita uusiobetonin hyödyntämisessä (Rc-beton 2019).

Özalp et al. (2016) tutkivat rakennus- ja purkujätteiden hyödyntämistä erilaisissa rakenteissa. Tutkimuksen perusteella uusiobetoni oli käyttökelpoista reuna- ja katukivien sekä betoniputkien valmistuksessa. Uusiobetonin valmistuksessa hyödynnettiin sekä hienoa että karkeaa uusiokiviainesta erilaisina osuuksina. Uusiobetonia käytetään jo vastaavissa tuotteissa esimerkiksi Enviroblock-betoniharkoissa (Hole 2013 s. 50; Aggregate Industries 2019). Uusiobetonin käyttökohteita voisivat olla edellä mainittujen katu- ja reunakivien sekä betoniputkien lisäksi esimerkiksi betoniporsaat, tuki- ja äänimuurit ja ulkoportaat. Kuvissa 10 – 12 esitetään Özalp et al. (2016) tutkimuksessa valmistettuja uusiobetonisia rakenteita.



Kuva 10. Uusiobetonisten katukivien tuotantoa (Özalp et al. 2016, s. 19).



Kuva 11. Uusiobetonisten katukivien käyttöä (Özalp et al. 2016, s. 20).



Kuva 12. Uusiobetonista valmistettuja uusiobetoniputkia (Özalp et al. 2016, s. 20).

Uusiobetonin käyttömahdollisuudet riippuvat uusiobetonin uusiokiviaineksen osuudesta ja uusiokiviaineen laadusta. Uusiobetonin käyttöä Suomessa voisi lisätä betonimurskeen lisääminen End-of-Waste materiaaliksi, jolloin betonimurske lakkaisi olemasta jätettä. Tämä voisi helpottaa lupaprosessia ja edelleen uusiobetonin valmistamiseen ryhtymistä. Jos uusiobetonin käytön kasvua tavoitellaan Suomessa, voitaisiin uusiobetonin käyttö tulevaisuudessa huomioida esimerkiksi kaavoituksessa tai muussa rakentamista ohjaavassa lainsäädännössä. Tämä kuitenkin vaatii esimerkiksi uusia lisätutkimuksia, standardeja ja lainsäädännön yhtenäistämistä.

Rakennusalan kiertotalous on ajankohtainen ja merkittävä aihe, koska arvioiden mukaan rakennusallalle laajentuva kiertotalous voi luoda EU:ssa arviolta 6,5 miljoonaa uutta työpaikkaa vuoteen 2030 mennessä. (Euroopan unionin neuvosto 2019, s. 4) Muutoksia uusiomateriaaleiden käyttöön rakennustuotteissa ja -materiaaleissa on odotettavissa,

koska Euroopan unionin neuvosto (2019, s. 6) ” KANNUSTAA komissiota selvittämään jäsenvaltioiden kanssa mahdollisuuksia esimerkiksi seuraaviin toimenpiteisiin:

- a) selvennetään rakennustuoteasetuksen suhdetta muuhun EU:n lainsäädäntöön, kuten jätepuitedirektiiviin (2008/98/EY) mukaan lukien end-of-waste -kriteerit rakennusjätteestä talteen otettaville uudelleenkäytettäville rakennustuotteille ja -materiaaleille”.

Rakennusalan kiertotalouden kannalta betoni on merkittävä materiaali, koska sen käyttömäärät ovat suuria. Betonirakentamisessa on rakennusalan kiertotalous jo huomioitu. Esimerkiksi betoniin tulevan sementin tuotannossa on jo pyritty hyödyntämään muun teollisuuden jätteitä. Sementin valmistuksessa käytettäviä teollisuuden jätteitä hyödynnetään vuosittain 350 000 tonnia. Muusta teollisuudesta kierrätettyjä raaka-aineita ovat esimerkiksi masuunikuona, rautahilse ja lentotuhka. Sementin polttoprosessissa on myös tapahtunut kehitystä. Nykyisin sementtiuunin energianlähteenä voidaan käyttää bio- ja kierrätyspolttoaineita. Sementtiuuneista voidaan ottaa myös lämpöä talteen ja jakaa se kaukolämmöksi. (BY 201 2018 s. 151)

Kiertotaloutta voidaan edistää panostamalla valmiisiin rakenteisiin. Kiertotalouden kannalta on tärkeää, että betonirakenne on esimerkiksi pitkäikäinen, muuntojoustava ja uudelleenhyödynnettävissä (BY 201 2018 s. 151). Uudelleenhyödynnettävyys voi tapahtua esimerkiksi uusiobetonissa.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että uusiobetonin käyttö rakentamisessa on mahdollista. Uusiobetoniin tulevaa betonimursketta voidaan hyödyntää purettavista rakenteista tai betoniteollisuuden ylijäämäbetoneista. Betonin käsittely uusiokiviainekseksi koostuu lupa- ja valmistusprosessista. Betonin käsittely uusiobetonin uusiokiviainekseksi voi olla lupaprosessiltaan työläs, mutta kuitenkin saavutettavissa. Uusiobetonissa hyödynnettävän betonin on oltava hyötykäyttökelpoista, jonka arviointiin voidaan soveltaa valtioneuvoston asetusta eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017) eli MARA-asetusta. Tulevaisuudessa lupaprosessi voi yksinkertaistua ja tehostua, kun rakennusalan kiertotalous kehittyy ja lainsäädäntö muuttuu uusiomateriaalien hyödyntämistä kannustavammaksi.

Uusiobetoniin tuleva betonimurske valmistetaan purettavasta betonirakenteesta tai betoniteollisuuden ylijäämäbetoneista. Rakenteiden purkaminen suoritetaan lajittelevasti ja suunnitellusti, jotta betonimurske on muista purkumateriaaleista puhdasta. Varsinaisen purkamisen ja pulveroinnin jälkeen hyödynnettävän betonin käsittely voi jatkua purkutyömaalla tai se voidaan kuljettaa muualle murskattavaksi. Varsinainen murskaus koostuu pulveroinnista, murskauksesta ja seulonnasta. Pulveroinnilla pienennetään betonijätteen palakokoja ja erotellaan betonissa mahdollisesti oleva rauditus. Pulveroinnin jälkeen betoni etenee murskattavaksi. Uusiobetoniin tulevan uusiokiviaineksen murskaus tapahtuu usein kahdessa vaiheessa. Murskauksen jälkeen seulonnalla voidaan erotella eri raekoot. Murskauksella on vaikutuksia betonimurskeen ominaisuuksiin, koska esimerkiksi murskaukerrat vähentävät ympäröivän sementin määrää.

Uusiobetonin valmistuksessa on hyvä huomioida tuleva käyttökohde. Esimerkiksi heikomman luokan uusiokiviaineksesta ei voi valmistaa lujemman luokan uusiobetonia. Uusiokiviaineksen osuus ja laatu vaikuttavat uusiobetonin ominaisuuksiin. Valmistuksessa tulee huomioida uusiokiviaineksen ominaisuudet, kuten esimerkiksi uusiokiviaineksen suurempi vedenimu. Suuremman vedenimun takia valmistukseen tarvitaan ylimääräistä vettä, jotta vettä riittää sementin hydrataatioprosessiin. Uusiobetonin valmistus voidaan tehdä kaksivaiheisen sekoittamisen avulla.

Uusiobetonin käyttökohteita ovat esimerkiksi katu- ja reunakivet sekä betoniputket. Uusiobetonia on hyödynnetty erilaisissa pilottikohteissa esimerkiksi Saksassa ja RC-beton on päätenyt siellä osaksi betoniasemien tuotevalikoimaa.

Tulevaisuudessa uusia tutkimuskohteita olisivat uusiobetonin säänkestävyys Suomen ympäristöolosuhteissa ja uusiobetonin uusiokiviaineksen osuus. Uusiobetonin uusiokiviaineksen osuutta tutkimalla voitaisiin selvittää, millaisella korvausosuudella saataisiin suurimmat hyödyt irti niin ekologiselta, taloudelliselta kuin rakenteelliseltakin näkökulmasta tarkasteltuna. Tulevaisuudessa esimerkiksi lainsäädännöllä voidaan ryhtyä kannustamaan uusiobetonin käyttöön. Tulevaisuudessa on hyvä perehtyä myös uusiobetonin elinkaareen eli miten uusiobetonista saadaan pitkäikäinen ja miten elinkaaren lopussa oleva uusiobetonirakenne voidaan jälleen uudelleenkäyttää tai kierrättää.

LÄHTEET

- Aggregate Industries (2019). Enviroblock. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.11.2019) <https://www.aggregate.com/products-and-services/building-products/concrete-blocks/enviroblock>
- Betoni (2019 a). Betonin ominaisuudet ja käyttö. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2019) <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>
- Betoni (2019 b). Betonin valmistus. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2019) <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>
- Betoni (2019 c). Sementti ja kasvihuonepäästöt. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.10.2019) <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>
- Betoni (2019 d). Kiviaines. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.12.2019) <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>
- BY 201 (2018). Betonitekniikan oppikirja. Suomen betoniyhdistys ry. 568 s.
- Collins, R. (2003). Recycled concrete. Advanced Concrete Technology Volume 4. pp. 1 – 13
- Eurofins (2016). Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden osoittaminen. Saatavissa (viitattu 8.11.2019) <https://www.eurofins.fi/media/1064690/jaetteen-kaatopaikkakelpoisuus.pdf>
- Euroopan komissio (2017). GPP in practice. Using recycled concrete in the construction of new buildings. Saatavissa (viitattu 2.1.2019) https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/news_alert/Issue75_Case_Study_149_Berlin.pdf
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätedirektiivi (2008). Euroopan unionin virallinen lehti, L312/3. Saatavissa (viitattu 29.10.2019) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>
- Euroopan unionin neuvosto (2019). Neuvoston päätelmät – kiertotalous rakennusalaalla – hyväksyminen. Bryssel. Saatavissa (viitattu 7.12.2019) <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13814-2019-INIT/fi/pdf>
- Exteberria, M. Mari, A. R. & Vázquez, E. (2007). Recycled Aggregate Concrete as Structural Material. Materials and Structures 40. pp. 529 – 541
- Finnsementti. (2019). Betonin lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2019) <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-lujuus-riippuu-vesi-sementtisuhteesta/>.
- Hole, M. (2013). Used concrete recycled as aggregate for new concrete. Opinnäytetyö. Grado en Arquitectura Técnica.
- Häkkinen, S. (2019). Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo.
- Häkämies, S. Vehkalahti, K. Lutfi, E. Uotila, T. Kivistö, P. Rautalin, K. Raimovaara, M. Raimovaara, E. Viluksela, P. Tohka, A. Koivumaa, V. Yli-Pentti, A. & Järvenpää, T. (2018).

Rakennusten purku-urakoiden ja maamassojen hallinnan kiertotalous - nykytila, mahdollisuudet ja haasteet kunnissa: Rakentamisen kiertotalous kunnissa (RANTA) -hanke. Green Net Finland. Saatavissa (viitattu 20.11.2019) <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018110816830>

ISO-standardi (14040:2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Saatavissa (viitattu 2.1.2020) <https://www.iso.org/standard/37456.html>

Jätelaki 646/2011. Jätelaki. Saatavissa (viitattu 20.10.2019) <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646#L1P5>

Linden, T. (2017). Betonimurskeen käyttö raitiotierakentamisessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

MARA-asetus 843/2017. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa. Saatavissa (viitattu 27.11.2019) <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Marinkovic, S. B., Malesev, M. & Ignjatovic, I. (2014). Life cycle assessment (LCA) of concrete made using recycled concrete or natural aggregates. Eco-efficient construction and building materials, Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies. Woodhead Publishing. pp. 239 – 266.

Nagataki, S. Gokce, A. Saeki, T. & Hisada, M. (2004). Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Research. Vol. 34:6. pp. 965 – 97.

Nieminen, A. (2015). Murskatun betonin hyödyntäminen uusiokiviaineksena betonissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo.

Nieminen, A. (2016). Uutta betonia vanhaa hyödyntäen. Betoni 4/2016. S. 78 – 83.

Pajukallio, A. Wahlström, M. & Alasaarela, E. (2011). Maanrakentamisen uusiomateriaalit. Ympäristöministeriön raportteja 11/2011. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Ratu 1221-S. (2009). Purkutöiden suunnittelu. Sunnitteluohje. Rakennustieto.

Rc-beton (2019). Pilotprojekte im Überblick. Rc-beton. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.12.2019) <http://www.rc-beton.de/index-pilotprojekte.html>.

Rudus (2019). Betoroc-betonimurske. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.1.2020) <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>

Saari, S. (2015). Kiertotalous toimii betonirakentamisessa. Betoni 3/2015. S. 42 – 47.

SFS (2019). CE-merkintä. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.12.2019) https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/ce-merkinta.

SFS-EN ISO 12620+A1 (2008). Betonikiviainekset, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 49 s.

Suomen virallinen tilasto (SVT). (2019). Jätetilasto. Verkkojulkaisu. Tilastokeskus. Helsinki. Saatavissa (viitattu 20.11.2019) http://www.stat.fi/til/jate/2017/jate_2017_2019-07-09_tie_001.fi.

Väylävirasto. (2019). Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Verkkojulkaisu. Helsinki. Saatavissa (viitattu 29.11.2019) https://vayla.fi/documents/20485/175370/Uusiomateriaaliohje_lausunversio/141ba143-9f0f-4366-8c3f-47a197097435.

Ympäristöministeriö. (2014). Jätelain eräiden säännösten tulkintalinjauksia. Muistio 19.12.2014. Ympäristönsuojeluosasto. Saatavissa (viitattu 20.11.2019) https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Jatelainsaadanto/Ohjeet_ja_oppaat

Ympäristöministeriö (2017). Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Muistio 28.11.2017. Saatavissa (viitattu 28.10.2019) https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Jatelainsaadanto

Ympäristöministeriö (2018). Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. Helsinki. Saatavissa (viitattu 24.11.2019) http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160560/YMra_9_2018.pdf

Ympäristöministeriö (2019 a). Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maarakentamisessa laajennetaan. Päivitetty 20.8.2019. Saatavissa (viitattu 28.10.2019) https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatt_eiden_hyodyntaminen_maanrakentamisessa

Ympäristöministeriö (2019 b). Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Soveltamisohje 2.7.2019. Päivitetty 19.9.2019. Saatavissa (viitattu 24.10.2019): https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Jatelainsaadanto/Ohjeet_ja_oppaat

Özalp, F. Yılmaz, H. Kara, M. Kaya, Ö. Sahin, A. (2016). Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes. Construction and Building Materials 110 (2016) pp. 17 – 23.

LIITE A: MARA-ASETUKSEN (843/2017) RAJA- ARVOT

	Väylä ¹⁾		Kenttä ¹⁾		Valli		Teollisuus- ja varastorakenn uksen pohjarakenne	Tuhkamursk etie ²⁾
	jätteen kerrospak suus ≤ 1,5 m		jätteen kerrospaks uus ≤ 1,5 m		jätteen kerrospak suus ≤ 5,0 m		jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m	jätteen kerrospaksu us ≤ 0,2 m
	Peitetty	Päällyst etty	Peitetty	Päällyst etty	Peitetty			
Liukoisuus (mg/kg LS = 10 l/kg)								
Antimoni (Sb)	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3		0,3	0,3
Arseeni (As)	1	2	0,5	1,5	0,5		2	2
Barium (Ba)	40	100	20	60	20		100	80
Kadmium (Cd)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04		0,06	0,06
Kromi (Cr)	2	10	0,5	5	1		10	5
Kupari (Cu)	10	10	2	10	10		10	10
Lyijy (Pb)	0,5	2	0,5	2	0,5		2	1
Molybdee ni (Mo)	1,5	6	0,5	6	1		6	2
Nikkeli (Ni)	2	2	0,4	1,2	1,2		2	2
Seleeni (Se)	1	1	0,4	1	1		1	1
Sinkki (Zn)	15	15	4	12	15		15	15
Vanadiini (V)	2	3	2	3	2		3	3
Elohopea (Hg)	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03		0,03	0,03

Kloridi (Cl ⁻) ³⁾	3 200	11 000	800	2 400	1 800	11 000	4 700
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻) ³⁾	5 900	18 000	1 200	10 000	3 400	18 000	6 500
Fluoridi(F ⁻) ³⁾	50	150	10	50	30	150	100
Liennut orgaaninen hiili (DOC)	500	500	500	500	500	500	500
Pitoisuus (mg/kg kuiva- ainetta)							
Bentseeni	0,2	0,2	0,02	0,2	0,06	0,02	0,2
TEX ⁴⁾	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	5	5	5	5	5
PAH- yhdisteet ⁵⁾	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet ⁶⁾	10	10	5	10	10	10	10
PCB- yhdisteet ⁷⁾	1	1	1	1	1	1	1
Öljyhiiliv edyt C10- C40	500	500	500	500	500	300	500